Revista CIENCIA **Vol.19, 3, 389-412 (2017)**

STRUCTURAL BEHAVIOR OF BUILDINGS AFFECTED BY THE 2016 EARTHQUAKE IN MANTA. SECOND PART

R. Aguiar [1,2], A. Cevallos [1], M. Sornoza [2], M. Iglesias [2], E. Loor [2], L. López [2], W. Salguero [2], V. Quijije [2], K. Pata [2], V. Prado [2], G. Bravo [2], G. Chica [2], S. Manner [2], A. Briones [2], L. Zambrano [2], F. Ayala [2], E. Cobeña [2], M. Novoa [2], K. Ostaíza [2], M. Solórzano [2], B. Villacrés [2], D. Luzardo [2], E. Zambrano [2], M. Mero [2], R. Mero [2], J. Mero [2], M. Intriago [2], D. Castro[2].

[1]Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Av. General Rumiñahui s/n Valle de los Chillos, Ecuador. rraguiar@espe.edu.ec
[2]Facultad de Ingeniería. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta Ecuador.

Received: July 2017. Accepted: September 2017

ABSTRACT

This article analyze the behavior of 16 reinforced concrete buildings and 3 mixed, concrete and steel buildings, located en Manta city, during the earthquake of 16 April 2016, that had a magnitude of 7.8 (on Richter magnitude scale).

The seismic analysis is performed, considering 1 grade of freedom per floor by spectral method, getting maximum floor drift and global drift; with these parameters is correlated the damage they had during the earthquake.

This work, is a continuation of the previous article published in this journal, which has a total of 35 buildings studied.

Keywords: 2016 Ecuador earthquake. Spectral Method. Floor drift. Global drift.

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS AFECTADOS POR EL TERREMOTO DE 2016 EN MANTA. SEGUNDA PARTE

RESUMEN

En este artículo se analiza el comportamiento que tuvieron 16 edificios de hormigón armado y 3 edificios mixtos de hormigón y acero, ubicados en la ciudad de Manta, durante el terremoto del 16 de abril de 2016, que tuvo una magnitud de momento de 7.8.

Se realiza el análisis sísmico, considerando un grado de libertad por piso por el Método Espectral, se obtienen derivas máximas de piso y global; con estos parámetros se correlaciona con el daño que tuvieron durante el terremoto.

Este trabajo, es una continuación del artículo anterior publicado en esta revista, con lo que se tiene un total de 35 edificios estudiados.

Palabras Claves: Terremoto de Ecuador de 2016. Método Espectral. Deriva de piso. Deriva global.

1. INTRODUCCIÓN

Luego del terremoto de Chile, del 27 de febrero de 2010, que tuvo una magnitud de momento de 8.8, se realizaron estudios estadísticos y de desempeño de los edificios altos que mayoritariamente se construyen con muros de hormigón armado; se analizó la relación A_w/A_f; donde A_w es el área de muros en una dirección y A_f es el área de la planta del edificio; se vio el espesor de los muros. En fin se sacaron importante información sobre el desempeño que tuvieron las estructuras y se hicieron recomendaciones para mejorar el desempeño estructural. Massone *et al.* (2012); Lagos *et al.* (2012); Guendelman *et al.* (2012).

Es importante hacer este estudio para ver que se está haciendo bien y que se está haciendo mal y tomar acciones que permitan mejorar el comportamiento estructural mediante nuevas normativas sísmicas. En Chile han analizado el desempeño de las estructuras que tenían antes del terremoto de 1985 y que se comportaron bastante bien ya que tenían espesores de muros más anchos con relación a los edificios que fueron construidos después de 1985 y en el terremoto de 2010 no tuvieron tan buen comportamiento con en 1985; por lo que establecieron que el espesor mínimo de los muros de edificios sea de 30 cm.

Es importante definir algunos parámetros estructurales, como la relación del desplazamiento máximo con respecto al período de vibración, las derivas de piso máximas y derivas globales, de acuerdo a las tipologías estructurales y comparar con formas similares de construcción de otras partes del mundo, para así ver a ciencia cierta cuanto se debe mejorar en el diseño estructural. Rodríguez (2015, 2016).

En este segundo artículo sobre el comportamiento sísmico de las estructuras de Manta, durante el terremoto del 16 de abril de 2016, de magnitud 7.8, se presenta en primer lugar una ficha técnica que resume el desempeño de 19 edificios; luego se presentan las derivas de piso y deriva máxima global encontradas en el análisis modal espectral en cada una de las direcciones de las estructuras (longitudinal y transversal)

En Manta la mayor parte de edificios tienen menos de 10 pisos pero en los últimos años se han empezado a construir edificios de más pisos. En este artículo se analizan 5 edificios de más de 10 y el que más pisos tiene en este estudio es el Edificio Buzios de 16 pisos, que es uno de los más altos de la ciudad. (Aguiar 2017).

2. FICHA TÉCNICA EDIFICIO BUZIOS

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Armado</td><td>16</td><td>1</td><td>Libre</td><td>Calle Umiña 2 y Av. Umiña 3</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Estructura con 5 ejes de columnas en sentido longitudinal y transversal; la dimensión típica de columna es de 50/100 cm, y sube igual en todos los pisos; las vigas en sentido longitudinal son de 40/60 cm, y en sentido transversal de 40/70 cm. Existe un núcleo con muros de corte de 25 cm, para la escalera y ascensor.</td><td colspan="3">Daño entre leve y moderado (ver figura 1 d) en mampostería de bloques, a partir del piso 11 el daño en mampostería fue leve. El primero de los autores de este artículo, luego del sismo solo encontró ligeras fisuras de menos de 1 mm, en unas vigas del subsuelo 1. En la reparación se encontró fisuras que fueron inyectadas con material epóxico en la viga corta que se genera al entrar al núcleo de grada que es en base de muros de hormigón, ver fotografía 1 c.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="2">Losa maciza de 40 cm, de espesor y vigas “T” de 60/150 cm, en los dos sentidos. Estructura se halla en perfil de suelo tipo C.</td><td colspan="3">No hubo consenso de Copropietarios para reforzar edificio con disipadores de energía. Se realizó una reparación integral, con cambio de material de mampostería a Gypsum, figura 1 e. (en algunos pisos)</td></tr>
</table>



Figura 1 Edificio Buzios; a) Antes del sismo; b) Después del sismo; c) Inyección de resina en fisuras; d) Daño moderado en mampostería; d) Reconstrucción con paredes de Gypsum. Fuente: Aguiar (2017).

3. FICHA TÉCNICA EDIFICIO OLAS

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Armado</td><td>12</td><td>8</td><td>Libre</td><td>Calle 27 y Flavio Reyes</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Estructura con 6 pisos en entrada (foto 2 b) principal y 12 en parte posterior (foto 2 a). Con 10 ejes de columnas en un sentido y 6 en otro sentido. Estructura con columnas, muros de corte y vigas descolgadas. Núcleo de gradas y ascensor con muros de corte de 20 cm, de espesor.</td><td colspan="3">Daño leve (fotografía 2 d) y moderado (fotografías 2 b, y 2 c). No se observó daño en elementos estructurales, es probable que exista alguna fisura milimétrica pero no se apreció. En una columna de la planta baja de la entrada se notó una deformación en la pintura plástica lo que hace suponer que a lo mejor existe una micro fisura.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="2">Dos niveles de cimentación y muro de contención entre ellos. Losa maciza con vigas “T” en dos sentidos.</td><td colspan="3">No hubo consenso de Copropietarios para reforzar edificio con disipadores de energía. Se realizó una reparación integral, con cambio de material de paredes a Gypsum, figura 1 e. (en algunos pisos)</td></tr>
</table>



Figura 2 Edificio Olas; a) Después de reparación; b) Daño en mampostería y discontinuidad de losa; c) Daño moderado en mampostería; d) Daño leve en mampostería. Fuente: Aguiar y Ortíz (2017).

4. FICHA TECNICA EDIFICIO FORTALEZA

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Armado</td><td>8</td><td>11</td><td>Interna</td><td>Calle M2 y Avenida 24</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Losa plana de una dirección, sobre columnas y muros, el núcleo del ascensor es de Hormigón armado pero no se ubica en el centro: 3 ejes de columnas en sentido x y 6 ejes de columna en sentido y</td><td colspan="3">La mampostería de los pisos bajos e intermedios presenta grandes rajaduras, se cambió la mampostería por Gypsum</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="2">Directas (sin pilotes) con zapatas aisladas</td><td colspan="3">Tuvo un buen comportamiento estructural, ya que las ordenadas espectrales del terremoto del 16 de abril de 2016, superaron a las del CEC 2000 que fue el empleado en el cálculo estructural, hubo daño considerable en mampostería, no se observa daño en columnas y muros de corte</td></tr>
</table>



Figura 3 Gran daño en mampostería del tercer piso alto de Edificio Fortaleza; a) Estructura sin daños antes del terremoto del 16 de abril el 2016 b) Rotura de pared; c) Rajaduras diagonales; d) Paredes ortogonales en fachada.

5. FICHA TÉCNICA RESIDENCIA DELGADO SUAREZ

Material	# de Pisos	Años	Ubicación	Dirección
Hormigón Armado	3	3	Esquinero	Calle U 8 y Av. U 7
Tipología		**Falla**		
Estructura con 4 ejes de columnas en sentido longitudinal y 7 en sentido transversal; la dimensión típica de columna es de 30/40 cm, y sube igual en todos los pisos; las vigas en sentido ambos sentidos son de 20/50 cm.		Daño entre leve (ver figura 1 d) en enlucido de mampostería de bloques.		
Cimentación		**Observaciones**		
Losa maciza de 20 cm, de espesor y vigas "T" de 20/50 cm, en los dos sentidos.		La estructura se comportó adecuadamente durante el evento sísmico, el plano inicial muestra ejes irregulares, pero en obra se muestra una estructura con ejes regulares.		



Figura 4 Residencia Delgado Suarez; a) Antes del sismo; b) vista lateral; c) Después del sismo; d) Vista posterior.

6. FICHA TÉCNICA EDIFICIO NAUTILUS

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Armado</td><td>8</td><td>10</td><td>Central</td><td>Urbanización Peñon del Mar, al sur de Manta en la vía Barbasquillo.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Vigas descolgadas, Columnas y Losa; 3 ejes de columnas en sentido X y 4 ejes de columnas en sentido Y, muros estructurales de 30 cm en la escalera.</td><td colspan="3">La estructura presentó daño extensivo en mampostería durante el evento sísmico del 16 A, y presencia de micro líneas de fallas por torsión en pocas columnas.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="2">Directa (sin pilotes) con vigas de cimentación en el sentido longitudinal.</td><td colspan="3">Edificio con piso Blando, fig. 5 d. Las columnas fueron reforzadas post sismo mediante encamisado con fibra de carbono. Estructura con piso blando.</td></tr>
</table>

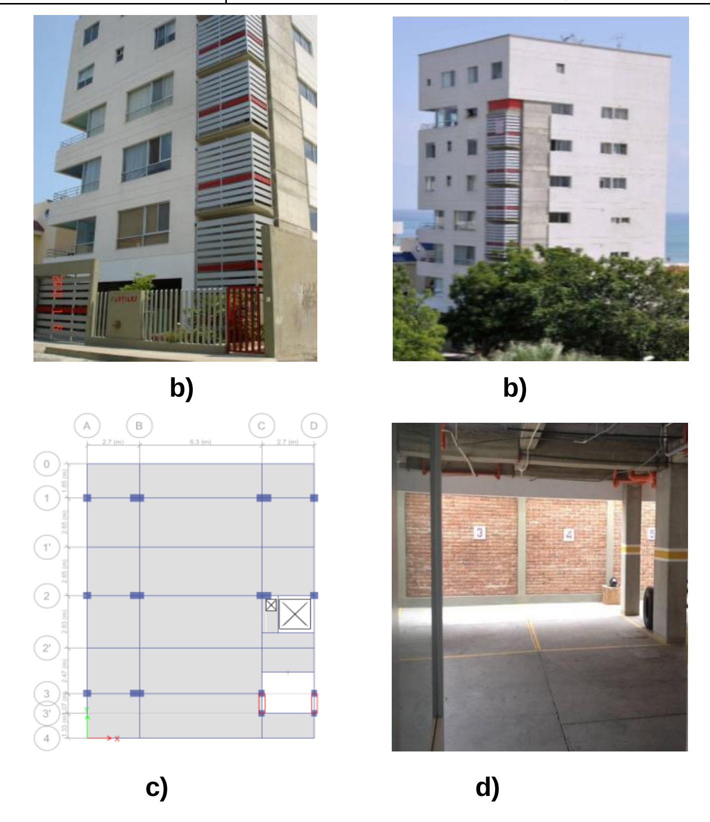


Figura 5. Edificio Nautilus**.** a) Vista frontal. b) Vista lateral.
c) Vista en planta. d) Parqueadero

7. FICHA TÉCNICA RESIDENCIA MUÑOZ

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Armado</td><td>4</td><td>4</td><td>Central</td><td>Av. Circumvalación y calle s/n</td></tr>
<tr><th colspan="3">Tipología</th><th colspan="2">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="3">Estructura con 4 pisos; Vigas de 40*30cm banda y Columnas de 45*45 cm iguales en toda la edificación; con 5 ejes sentido longitudinal 3 ejes en sentido transversal</td><td colspan="2">Daño leve en mampostería en el segundo piso y terraza. No se observó daño en elementos estructurales, es probable que exista alguna fisura imperceptible en la segunda planta, pero no se observó ningún daño aparente.</td></tr>
<tr><th colspan="3">Cimentación</th><th colspan="2">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="3">Plintos aislados de (1.5 x 1.5); peralte 0.30cm.</td><td colspan="2">La estructura se comportó de manera adecuada durante el terremoto del 16 de abril; actualmente la estructura se reparó los daños mínimos en mampostería del segundo piso y terraza</td></tr>
</table>



Figura 6 Edificación Muñoz; a) Vista frontal de la edificación. b) vista lateral de la estructura c) Fachada principal de la edificación; d) Implantación.

8. FICHA TÉCNICA EDIFICIO CLÍNICA DEL SOL

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Armado</td><td>9</td><td>7</td><td>Esquinero</td><td>Entre la avenida 38, 39 y calle 17</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Estructura con 9 pisos (fotografía a) vista frontal. Con 8 ejes de columnas en un sentido longitudinal y 4 ejes en el sentido trasversal. Estructura con columnas, muros de corte y vigas descolgadas. Ascensor con muros de corte de 20 cm, de espesor.</td><td colspan="3">Los daños que existieron por el sismo fueron de mampostería en especial los pisos desde primero hasta el quinto. Daño entre extensivo (figuras 7 b, c y d).
Es muy probable que existieron fisuras en los elementos estructurales por lo que se recomienda que lo refuercen.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="2">La estructura está implantada en vigas de cimentación en sentido Y (transversal), con un total de 8 zapatas, con peralte de 1.20 m</td><td colspan="3">Se remplazó la mampostería por gypsum. Se desconoce a ciencia cierta cómo quedó el Edificio después del terremoto.</td></tr>
</table>



Figura 7: Edificio "Clínica del Sol"; **a)** Edificio antes del Terremoto del 16 de Abril del 2016; **b)** Daño a nivel de mampostería en fachada lateral; **c)** Daño en Paredes internas; **d)** Daño en Paredes externas.

9. FICHA TÉCNICA EDIFICIO COPIAGUE

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Armado</td><td>5</td><td>2</td><td>Esquinero</td><td>Calle 12 esquina y calle 16B</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Edificación compuesta por un sistema de columnas de secciones variables y vigas descolgadas</td><td colspan="3">No presento fallas, solo micro fisuras a nivel de enlucido</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="2">Zapata aislada con dimensiones variables, conectadas por cadenas de 25 x 25</td><td colspan="3">La estructura presento muchos cambios de diseño al momento de construcción, a poco tiempo de haberse construido los primeros niveles, se realizó un reforzamiento en los elementos estructurales, ya que la resistencia requerida del hormigón no llego a la estipulada por la mala utilización de la concretera y mal mezclado, después para obtener la resistencia requerida se empezó a utilizar mixer para la construcción, el reforzamiento se lo realizo mediante un encamisado de la columna con malla electro soldada y el nuevo hormigón cambiando así el diseño original..</td></tr>
</table>

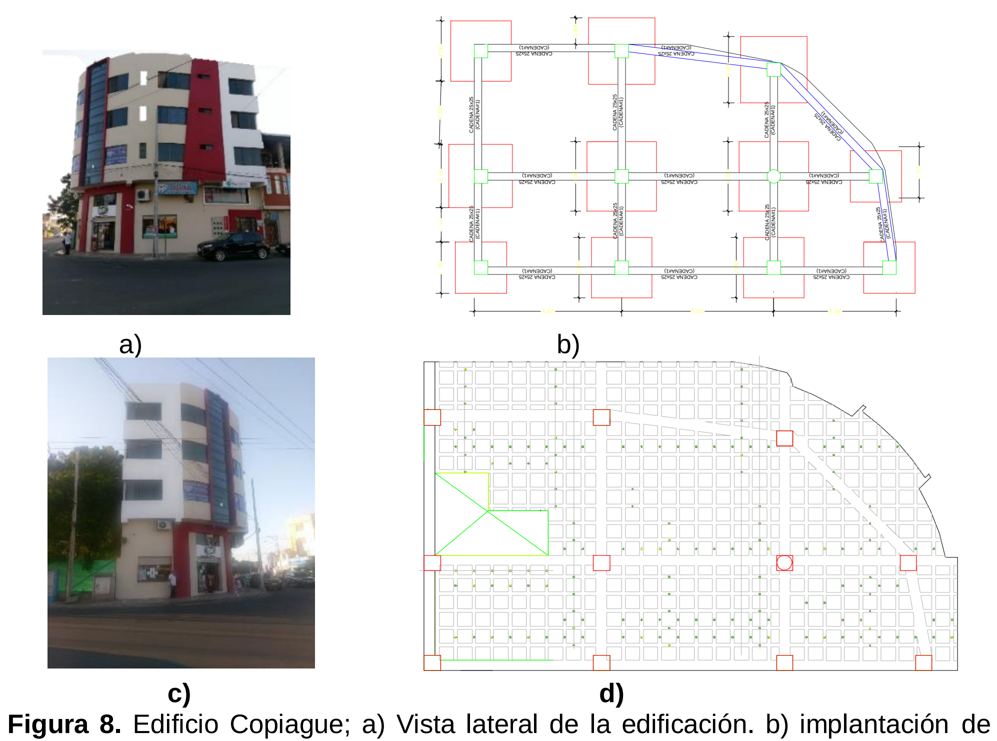


Figura 8. Edificio Copiague; a) Vista lateral de la edificación. b) implantación de cimentación c) Fachada Principal de la estructura; d) Implantación pisos superiores

10. FICHA TÉCNICA EDIFICIO MYKONOS PALMS

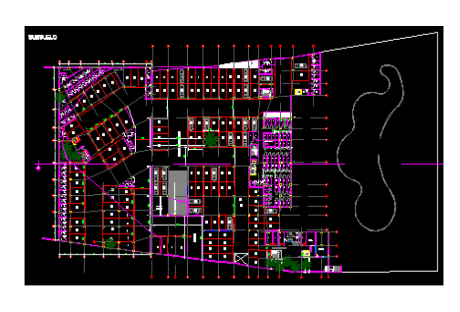
<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Armado y Acero</td><td>15</td><td>3</td><td>Interior</td><td>VIA BARBASQUILLO, JUNTO A EL HOTEL POSEIDON</td></tr>
<tr><th colspan="3">Tipología</th><th colspan="2">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="3">Edificación compuesta por un sistema de columnas de secciones variables de hormigón, además de vigas descolgadas de hormigón y Acero; novalosa.</td><td colspan="2">La edificación presentó daño en la mampostería durante el sismo del 16 A, en la parte posterior de la TORRE "C". Es probable que existan micro fisuras en algunos elementos estructurales, por lo que se recomienda una verificación de las mismas.</td></tr>
<tr><th colspan="3">Cimentación</th><th colspan="2">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="3">Losa de Cimentación y muros en subsuelo.</td><td colspan="2">La estructura se comportó adecuadamente durante el evento sísmico, el plano inicial muestra ejes irregulares, pero en obra se muestra una estructura con ejes regulares.</td></tr>
</table>



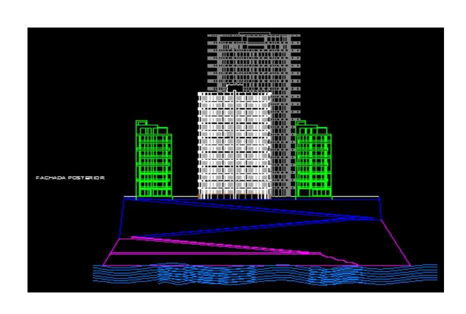
a)



b)



c)



d)

Figura 9. Edificio MYKONOS a) Fachada Principal de la edificación. b) Fachada Posterior de la estructura c) implantación planta Subsuelo; d) Fachadas Generales.

11. FICHA TÉCNICA EDIFICIO EPAM

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Armado</td><td>1 Sub-suelo
8 Pisos</td><td>43</td><td>Libre</td><td>Avenida 4 entre Calle 8 y Calle 6-A</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">El edificio de la EPAM en gran mayoría es de forma irregular, tanto en planta como en elevación. El sistema estructural del edificio consta de un sistema de pórticos (viga - columnas), 6 ejes de columnas en sentido transversal y la luz máxima es de 9.5m, el cual es de forma regular de piso a piso, con escaleras y ducto de ascensor ubicado interiormente.</td><td colspan="3">La estructura irregular en elevación, presenta falla extensiva en mampostería, daño en acabado de la estructura, desprendimiento de recubrimiento en columnas y vigas. Existe daño en elementos de Hormigón Armado.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="2">Cimentación con Pilotes.</td><td colspan="3">El primero de loa autores visitó el edificio después del sismo y notó falta de mantenimiento, con ventanas de pisos superiores rotas, sin puertas. En el subsuelo se tenía 5 cm, de agua, el nivel freático es muy alto y no se había realizado una zanja en su alrededor para impedir el ingreso de agua.
Edificio desalojado por mantenimiento, aun en planificación de reforzamiento con diagonales de acero.</td></tr>
</table>



a) **b)**

c) **d)**

Figura 10 Edificio EPAM; a) Vista lateral (av. Malecón) ; b) Vista frontal (Calle 6-A); c) Segunda planta del edificio después del terremoto 16A daños en mampostería; d) Tercera planta del edificio, estado de viga después del terremoto.

12. FICHA TÉCNICA EDIFICIO BURGOS

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>H. A (último piso es estructura mixta con acero)</td><td>7 pisos</td><td>4</td><td>Esquinero</td><td>Avenida Universidad 2 entre Calle Universidad 9 y 10</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Vigas bandas. Columnas, 5 ejes de columnas en sentido longitudinal y 4 ejes de columnas en sentido transversal.</td><td colspan="3">La edificación no presento mayor daño, solo pequeñas fisuras en mampostería que fueron arregladas días después del terremoto 16A.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="2">4 Plintos (1.6x1.6x0.3) y 14 plintos (2.0x2.0x0.3).</td><td colspan="3">Los tres últimos pisos fueron incrementados: dos de ellos de hormigón armado, el último en dos ejes de columnas en sentido longitudinal de hormigón armado y los 3 ejes restantes de estructura metálica.
Durante el sismo solo estaban terminadas las dos primeras plantas, figura 11 a y b.</td></tr>
</table>



Figura 11 Edificio Burgos; a) Antes del sismo; b) Después del sismo; c) Vista lateral; d) Actualidad del Edificio.

13. FICHA TÉCNICA EDIFICIO MAR AZUL

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>H. A (estructura mixta)</td><td>4 pisos</td><td>11</td><td>Esquinero</td><td>Calle 22 detrás del Mall del Pacifico</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Vigas Columnas, 7 ejes de columnas en sentido longitudinal y 3 ejes de columnas en sentido transversal.</td><td colspan="3">Solo se tuvo pequeñas fisuras en paredes.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="2">Plintos aislados.</td><td colspan="3">Después del 16A incrementaron en uno de los ejes (pórtico 5, sentido longitudinal) columnas de estructura metálica para los cuatro pisos.</td></tr>
</table>



Figura 12 Edificio Mar Azul; a) Antes del sismo; b) Después del sismo; c) Interior (no presento daños); d) Actualidad del Edificio.

14. FICHA TÉCNICA EDIFICIO OASIS MARINO

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Armado</td><td>12</td><td>4</td><td>Esquinero</td><td>Av. Umiña 3,Calle Umiña 2</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Edificio no terminado (figura 13 a) suspendieron su construcción de Hormigón Armado con vigas ligeramente descolgadas y columnas bastante esbeltas. Estructura flexible. Existe un subsuelo de parqueadero</td><td colspan="3">A l ser la estructura bastante flexible la mampostería se daño y el descanso de las escaleras se quedaron sin apoyo por la que algunas, de los pisos intermedios colapsaron (figura 13 c) Por otra parte existe una concavidad de algunas losas, probablemente se dieron antes del sismo.
Daño de paredes en casi toda la estructura.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="2">Losa de cimentación</td><td colspan="3">Se puede observar que en el proceso constructivo en el vaciado de hormigón, en algunas vigas no está totalmente confinado el árido grueso y muestra porosidad (figura 13 b)
Propietarios después del sismo derrocaron mampostería y gradas que estaban muy dañadas.</td></tr>
</table>

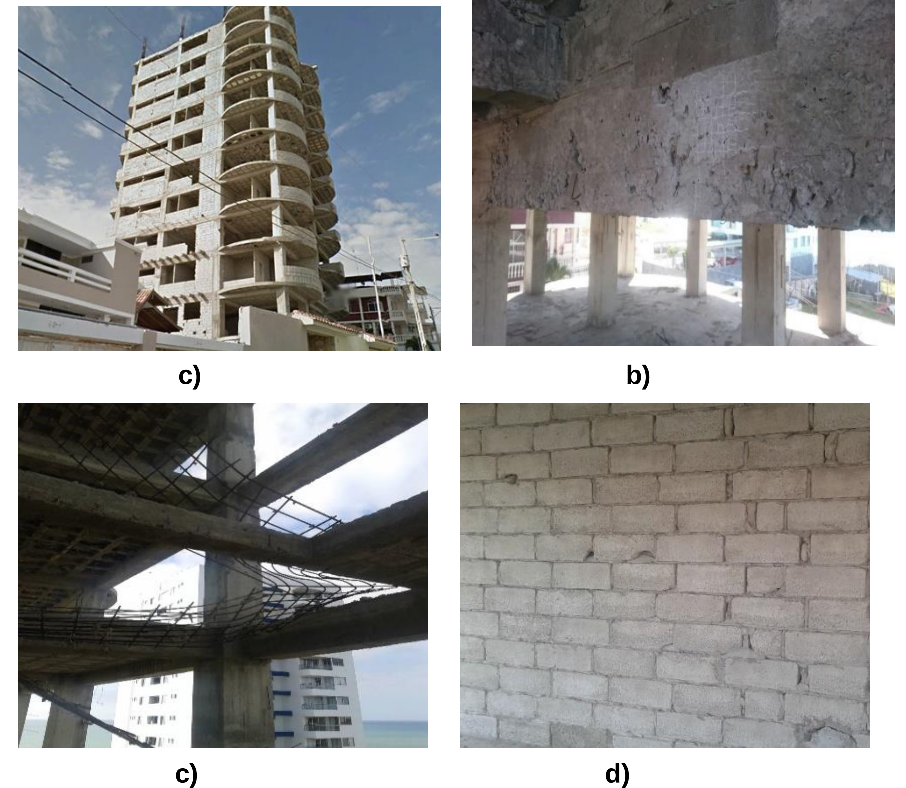


Figura 13 Edificio Oasis Marino; a) Vista lateral después del sismo; b) Viga mal construida; c) Daño en escalera; d) Falla de pared en planta baja.

15. FICHA TÉCNICA EDIFICIO SAN MARINO

Material	# de Pisos	Años	Ubicación	Dirección
Hormigón Armado	13	5	Libre	Calle M1
Tipología			**Falla**	
Estructura con un sub-Suelo, una planta baja y 11 pisos (foto 3 b). Con 6 ejes de columnas en un sentido transversal y 6 en otro sentido longitudinal. Estructura con columnas, muros de corte y vigas descolgadas. Ascensor con muros de corte de 25 cm, de espesor.			Daño moderado (fotografía 3 c) y extensivo (fotografías 3 d). No se observó daño en elementos estructurales, es probable que exista alguna fisura milimétrica pero no se apreció.	
Cimentación			**Observaciones**	
Losa de Cimentación de 25 cm de espesor, y vigas de cimentación de 25/120 cm.			La reparación de la estructura se lo realizo por medio de riostras horizontales y verticales para confinar las paredes. No se reforzó la estructura y se piensa que deben hacerlo.	







b)



c)



d)

Figura 14 Edificio San Marino; a) Después de reparación; b) En la construcción; c) Daño moderado en mampostería; d) Daño extensivo en mampostería.

16. FICHA TÉCNICA EDIFICIO MARIO MERO

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Armado</td><td>5</td><td>3</td><td>Libre</td><td>CALLE 116 AV 101. LOS ESTEROS.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Estructura con 5 pisos con columnas de 0.40 cm*0.40cm y vigas de 0.40 cm*0.20cm columnas y vigas son de sección constante para los 5 niveles de piso regulares en elevación y planta</td><td colspan="3">No se observó daño en elementos estructurales, es probable que exista alguna fisura milimétrica pero no se apreció. Daño entre leve y moderado en mampostería de bloques, a partir del piso 2 en paredes exteriores el daño en mampostería fue leve.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="2">En cimentación se utilizó zapatas aisladas.</td><td colspan="3">Se recomienda reforzarla en un futuro cercano.</td></tr>
</table>



a)



b)



c)



d)

Figura 15 Edificio MARIO MERO; a) Después de reparación paredes exteriores; b) después en reparación paredes exteriores; c) proceso constructivo d) Fachada frontal.

17. FICHA TÉCNICA MANUEL CHAVEZ

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Armado</td><td>4</td><td>2</td><td>Central</td><td>Ave 26 entre calle 8 y 9</td></tr>
<tr><th colspan="3">Tipología</th><th colspan="2">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="3">Estructura con 4 pisos (Fig. 16 a). Con 4 ejes de columnas en un sentido y 3 en otro sentido. Estructura con columnas cuadras de 40cm*40cm y vigas de 30cm*35cm todas</td><td colspan="2">Daño leve y moderado en mampostería (figura 16 a y b). No se observó daño en elementos estructurales, es probable que exista alguna fisura milimétrica pero no se apreció.</td></tr>
<tr><th colspan="3">Cimentación</th><th colspan="2">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="3">Plintos: zapatas aisladas
Tipo I A1-A3-D1-D3
1.60 1.60 0.3
Tipo II D2-B3C3
2.00 2.00 0.3
Tipo III A2-B1-C1
2.20 2.20 0.3
Tipo IV B2-C2
3.00 3.00 0.3</td><td colspan="2">Los detalles en los planos arquitectónicos presentan 4pisos pero actualmente tiene 5 pisos y así fue como se presentó durante el evento del 16 de abril sufriendo daños leve y moderados en su mampostería, actualmente se ve estable y firme (foto a) se estima que tiene dos años desde su construcción.</td></tr>
</table>

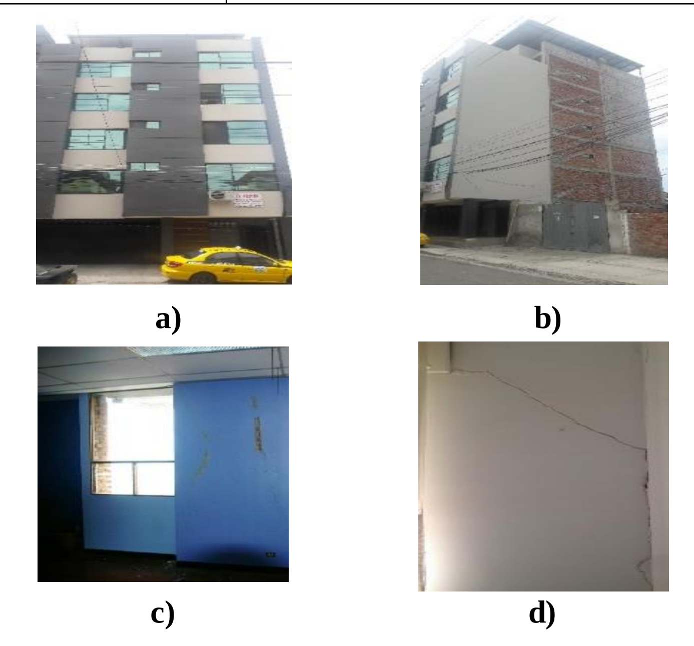


Figura 16 Edificio Manuel Chavez; **a)** fachada frontal foto como luce actualmente **b)** fachada lateral **c**) daños en mampostería en la habitación frontal del tercer piso **d)** daños en mampostería en la terraza por las escaleras

18. FICHA TÉCNICA EDIFICIO SRI DE MANTA.

Material	# de Pisos	Años	Ubicación	Dirección
Hormigón Armado	5	1	Interior	Avenida 23.
Tipología			**Falla**	
Edificación compuesta con columnas Y Vigas descolgadas; de secciones variadas, presenta 6 ejes en sentido longitudinal (X) y 7 ejes en sentido transversal (Y).			La edificación no presentó fallas estructurales post el sismo del 16 A, pero si presentó fisuras a nivel de mampostería.	
Cimentación			**Observaciones**	
Zapatas corridas y muros en subsuelo			La estructura es regular en planta e irregular en elevación. Al momento del sismo la estructura se comportó adecuadamente.	



a)



b)

c)



d)

Figura 1 Edificio SRI de Manta; a) Fachada frontal; b) Fachada lateral derecha; c) Fachada principal; d) Fachada lateral izquierda.

19. CLASIFICACIÓN DEL DAÑO

Interesa correlacionar el daño observado, en las estructuras con la deriva de piso o deriva global, encontrada en el estudio, al analizar las estructuras con un grado de libertad por piso en el centro de masas, ante las dos componentes de movimiento del suelo de los espectros obtenidos en Manta, del terremoto de 2016.

Para el efecto se clasifica el daño en: no estructural (mampostería, plafones) y estructural (vigas, columnas, losa, grada, muros). Para estos tipos la escala de daño es la siguiente: i) Leve; ii) Moderado; iii) Extensivo; iv) Completo.

Si el daño es generalizado, en la mayor parte de pisos de la estructura, a la clasificación indicada se coloca la letra G (Generalizada). Por otra parte, si el daño se da en pocos elementos estructurales o en pocas paredes se añade la letra L (Localizado), así por ejemplo en una estructura existe daño moderado solo en el primer piso, se clasifica: Moderado L.

- **No Estructural (Paredes de bloque o ladrillo)**

  Leve: Fisuras incipientes en la mampostería, que puede llegar a un desprendimiento o rotura del enlucido.
  Moderado: Fisuras generalizadas en las paredes, algunas atraviesan toda la pared o son bastante pronunciadas; existe rotura en la pared aunque no haya dejado abertura.
  Extensivo: Rotura grande de la pared con desprendimiento de material. Bastantes plafones se han caído.
  Completo: Una buena parte de la pared se ha volteado y se halla en el suelo dejando grandes aberturas.

- **Estructural (Elementos de Hormigón Armado)**

  Leve: Se tienen fisuras incipientes muy difícil de ver, aparentemente parece que fueran solo en el enlucido. Existen fisuras de 1 mm de espesor en la loseta a compresión de una losa alivianada.
  Moderado: Daños menores en elementos estructurales que son fácilmente reparables. La intervención de la reparación no implica un costo alto. Puede ser una falla en pie o cabeza de columna a nivel de recubrimiento pero no se observa la armadura.
  Extensivo: Daño considerable en los elementos estructurales, pero en ninguno de ellos se formó rótula plástica. Se observa la armadura longitudinal pero adherido al hormigón. El costo de reparación y reforzamiento será considerable pero bastante menor al costo de la estructura.
  Completo: Es probable que la estructura haya colapsado durante el terremoto, si fue mal diseñada. Pero lo más probable es que la estructura tuvo demasiado daño y el costo de reparación y reforzamiento es tan alto que supera o es igual al costo de la estructura antes del sismo.

20. RESULTADOS

En la tabla 1, se presenta un listado de los edificios que se han estudiado y cuya ficha técnica ha sido indicada; se indica además el tipo de material utilizado, destacando que 16 son de hormigón armado y 3 mixtos, hormigón y acero; luego está el número de pisos; la deriva global máxima encontrada; la deriva de piso máxima y el grado de daño que tuvieron durante el terremoto del 16 de abril de 2016.

Tabla 1 Derivas y desempeño de estructuras analizadas

Nombre de Estructura	Material	# Pisos	γ_g (%)	γ (%)	Daño	
					No estructural	Estructural
Nautilus	H.A.	8	0.54	0.68	Extensivo G	Moderado L
Fortaleza	H.A.	8	1.37	1.72	Extensivo L	Leve G
Edificio Mero	H.A.	5	1.08	1.37	Moderado G	Leve L
Copiague	H.A.	5	0.76	1.07	Leve L	Leve L
SRI	H.A.	5	0.72	1.18	Leve L	Leve L
Delgado Suarez	H.A.	3	1.51	1.65	Leve L	Leve L
Oasis Marino	H.A.	12	0.42	0.65	Moderado G	Moderado L
Cimera Mendoza	H.A.	4	0.88	1.04	Moderado L	Leve L
Mar Azul	Mixto	4	1.02	1.76	Leve L	Leve L
Burgos	Mixto	7	0.86	1.18	Leve L	Leve L
San Marino	H.A.	13	1.13	1.57	Moderado L	Leve L
Residen. Muñoz	H.A.	4	0.89	1.14	Moderado L	Leve L
EPAM	H.A.	9	0.54	0.92	Extensivo L	Moderado L
Mykonos	Mixto	15	0.67	0.83	Leve L	Leve L
Chávez	H.A.	4	0.73	0.97	Moderado L	Leve L
Clínica del Sol	H.A.	9	1.43	1.27	Extensivo L	Moderado L
Buzios	H.A.	16	0.48	0.68	Moderado L	Leve L
Olas	H.A.	12	0.49	0.77	Moderado L	Leve L

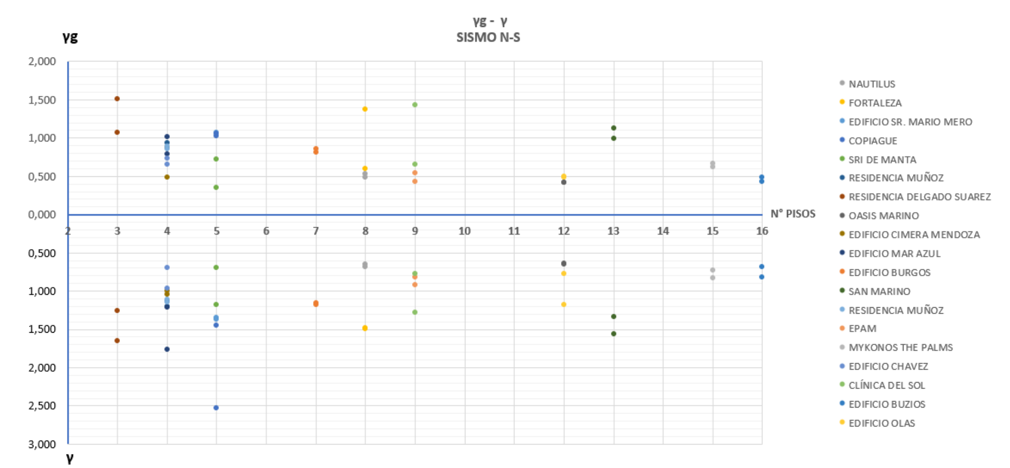


Figura 20 Relación entre la deriva global γ_g y número de pisos, en la parte superior; y deriva de piso γ con número de pisos, en la parte inferior ante componente N-S de movimiento del suelo. Espectro de Manta.

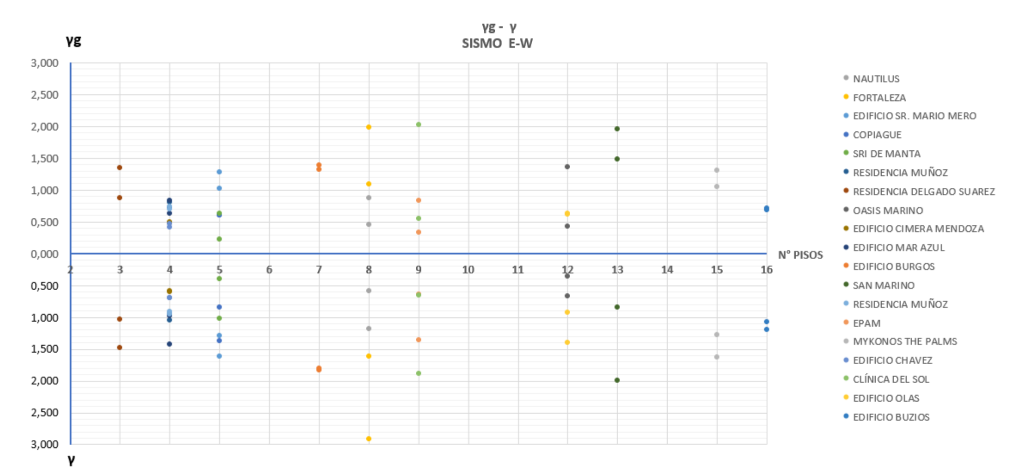


Figura 21 Relación entre la deriva global γ_g y número de pisos, en la parte superior; deriva de piso γ y número de pisos, en la parte inferior ante componente E-W de movimiento del suelo. Espectro de Manta

En las figuras 20 y 21 se presentan las derivas globales y derivas de piso, en función del número de pisos, de las estructuras analizadas en este artículo ante el espectro obtenido en Manta del terremoto del 16 de abril de 2016. Se aprecia que la mayor parte de derivas obtenidas son menores a 1.5% y en buena parte de los casos menores al 1%.

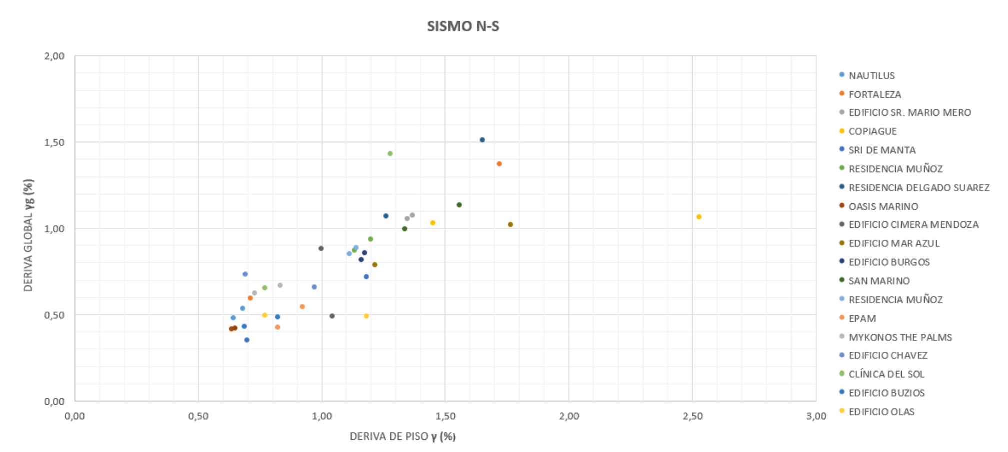


Figura 22 Relación de la deriva de piso γ con la deriva global γ_g ante la componente N-S de movimiento del suelo.

Ahora, en la figura 22 y 23 se presenta la relación entre la deriva de piso con la deriva global, nuevamente se aprecia que esta es aproximadamente lineal y que la deriva global presenta valores más bajos que la deriva de piso. La explicación es que se tienen pisos débiles donde hay un gran desplazamiento y por ende se tiene mayor deriva de piso.

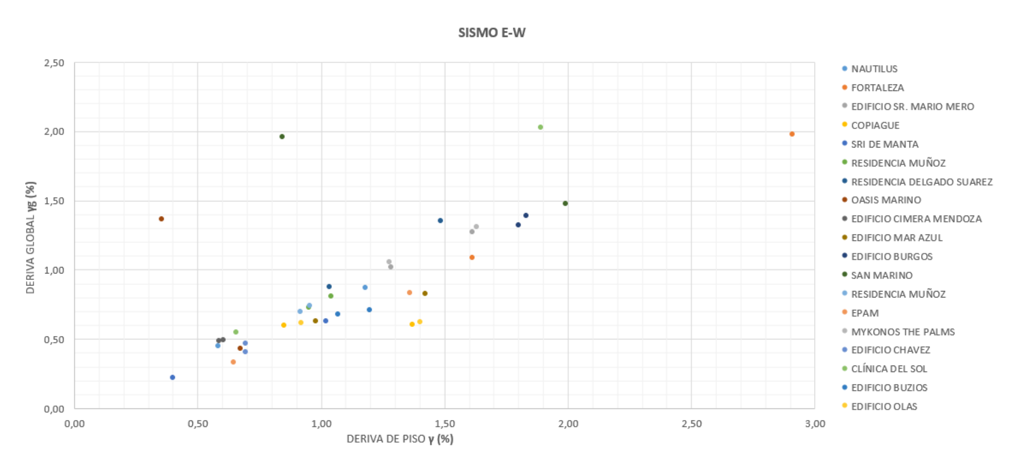


Figura 23 Relación de la deriva de piso γ con la deriva global γ_g ante la componente E-W de movimiento del suelo.

23. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Los edificios Buzios y Olas, tuvieron derivas globales de 0.48% y 0.49%, que son valores bajos y tuvieron daño entre leve y moderado en la mampostería, sin embargo de ello la rehabilitación duró 8 meses, tiempo en el cual, la mayor parte de copropietarios tuvieron que abandonar el edificio y buscar otro lugar para vivir, lo que implica llevar los muebles a una bodega, gastos de movilización y hospedaje. Demoró unos tres meses hasta que el seguro entregue el dinero ya que se debió cuantificar el daño, presentar al seguro y luego ser aprobado por los técnicos de las compañías aseguradoras. Es verdad que se está hablando de edificios de 16 y 12 pisos respectivamente, en que se decidió cambiar de material de las paredes de bloque prensado a Gypsum, por eso demandó 5 meses más la rehabilitación.

En el edificio Fragata, la rehabilitación duro 6 meses y también se cambió el material de las paredes a Gypsum.

Lo cierto es que se debe pensar en diseñar estructuras con menores derivas globales para mejorar notablemente el desempeño sísmico y esto se logra construyendo estructuras más rígidas o diseñando edificaciones con aisladores sísmicos o disipadores de energía.

REFERENCIAS

1. Aguiar R., (2017) *Reforzamiento estructural de edificio Buzios,* Consultoría solicitada por Administración de Edificio Buzios, presidida por Holger Torres, 3 Capítulos entregados, Manta.

2. Aguiar R., Ortiz D., (2017), “Análisis sísmico de un edificio de doce pisos de la ciudad de Manta considerando interacción suelo estructura”, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* **Vol. 22, (3),** 251-279. Disponible en: www.riie.espe.edu.ec

3. Guendelman T., Saragoni R., Verdugo R., (2012), “Chilean Emergency Seismic Design Code for Buildings after El Maule 2010 Earthquake”, *Proc. 15 WCEE,* paper 4480, Lisboa.

4. Lagos R., Kupper M., Lindenberg J., Bonelli P., Saragoni R., Gueldelman T., Massone L., Boroschek R., y Yanez F., (2012), “Seismic performance of high-rise Concrete Buildings in Chile”, *Internacional Journal of High-Rise Buildings,* Vol. 1, N. 2, pp 181-194.

5. Massone L., Bonelli P., Lagos R., Luders C., Moehle J., Wallace J., (2012), “Seismic design and construction practices for RC structural wall buildings”, *Earthquake Spectra,* Vol. 28, N. S1, pp. S245-S256. DOI:10.1193/1.4000046.

6. NEC-15 (2015) *Norma Ecuatoriana de la Construcción, SE-DS, Cargas Sísmicas. Diseño Sismo Resistente.* 138 p. Quito.

7. Rodríguez M., (2015), “Evaluation of a proposed damage index for a set of earthquakes”, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics,* **44**, 1255-1270.

8. Rodríguez M., (2016), “Una revisión crítica de la práctica de diseño por sismo de estructuras en México”, *Revista de Ingeniería Sísmica,* N. 94, 27-48, México.